

構造物と周辺地盤の地震応答を利用した 群杭基礎の水平動的ばね特性の推定手法の一提案

埼玉大学 正会員 ○齊藤 正人

埼玉大学 非会員 横田 怜哉

埼玉大学 非会員 岡本 宙

埼玉大学 正会員 Goit Shekhar Chandra

1. 目的

群杭基礎に支持される構造物の地震時応答特性は、基礎 - 地盤系の動的ばね特性、いわゆるインピーダンス特性に影響を受けることが知られている。そのため、既設構造物の損傷や破壊の現象を高精度に予測する上で、基礎天端位置における動的ばね特性を把握することは極めて重要である。杭基礎のインピーダンス関数には、加振振動数によって動的剛性項（インピーダンス関数の実部）と減衰項（虚部）が変化する振動数依存性が現れることが明らかにされている。こうしたインピーダンス関数を精度良く推定する方法は未だ開発途上である。特に局所的に増減する振動数依存性を捉えることは極めて難しい。既往の研究には実測した多層階構造物の地震時応答からインピーダンス関数の振動数依存性を捉える手法を考案したものもあるが¹⁾、質量効果による剛性項の低減度合いを推定する範囲に留まっているものが多い。

そこで本研究では、並進 1 自由度系の上部構造物を支持する群杭構造物（写真 1）を対象に、複数の観測地震動を模擬した振動台加振実験を行い²⁾、地表面、フーチングと構造物の地震応答を計測し、その応答値から群杭基礎（図 1）の杭頭位置におけるインピーダンス関数を推定した。本研究では上部構造物とフーチングを模した 2 質点系モデルに、振動数依存性を表現できる Gyro-Lumped Parameter Model (GLPM) を接続し、実験から得られた伝達関数を Trust Region 法と深層強化学習により GLPM のパラメータ推定を行った。その結果、推定されたインピーダンス関数は別途実施した杭頭載荷試験によるインピーダンス関数と類似した振動数依存性を捉えていることが明らかとなった。

2. 解析方法

本研究で用いる杭基礎-構造系モデルを図2に示す．水平インピーダンス関数は1つのBase Systemと3つのCore Systemを持つGLPMに置換する．GLPMのパラメータ数は15となるが，Base Systemのばね定数は静的骨格曲線の初期勾配に対応することから，別途実施した杭頭載荷試験の結果から初期勾配



写真1 振動試験装置（上部構造設置）

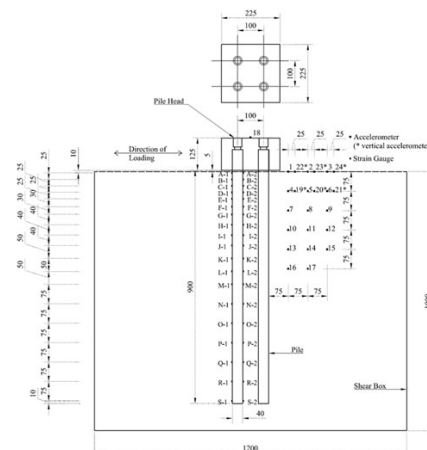


図 1 群杭模型諸元

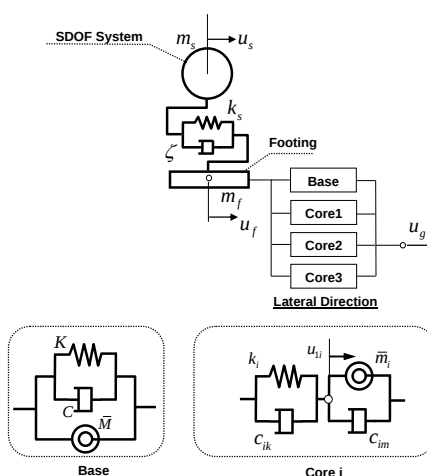


図 2 GLPM による杭基礎 - 構造物系モデル

キーワード 動的相互作用, インピーダンス関数, 振動数依存性, 杭基礎, 構造同定, 深層強化学習

連絡先 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学理工学研究科 TEL048-858-3560

を算定した値を用いる。本解析においては、上部構造物とフーチングの質量、上部構造物の減衰定数は既知量として扱う。本パラメータ推定では、Trust Region 法の目的関数として表層地盤に対するフーチングの伝達関数を対象に実験値と構造系モデルによる推定値との二乗誤差を用いた。ただし、この目的関数では振動数依存性が明確に捉えられなかったため、インピーダンス関数を初期勾配で無次元化した値の 2 乗誤差を目的関数に加えた。インピーダンス関数の誤差とは、構造系モデルの GLPM を Voigt モデルに置換したモデルを用いて伝達関数を振動数ごとに再現した Voigt モデルのばね定数と減衰係数の値と本推定値との差として定義する。Trust Region 法を適用するにあたり、パラメータを多く含む本問題では多くの局所解が存在することから、パラメータの初期値の設定が課題となる。そこで本研究では深層強化学習の一つである Deep Q Network (DQN)を利用した。ニューラルネットワークの入力値を現エポックの推定パラメータ値と伝達関数の誤差値とし、出力値を次のエポックのパラメータ初期値とした。また報酬設計では、上述したインピーダンス関数の誤差値に応じて加点する方式を採用した。

3. 推定結果

図 3 に本解析で得られた推定値と実験によって得られた地表面に対する上部構造物(上)と地表面に対するフーチング(下)の伝達関数を示す。図より、伝達関数がいずれも良好に再現できていることが確認できる。図 4 には GLPM の推定値から求まる水平インピーダンス関数(左)と別途実施した 50gal, 100gal, 200gal 入力時の杭頭調和加振時のインピーダンス関数(右)を示す。インピーダンス関数の推定値は、局所的な剛性項と減衰項の増減の傾向を良好に捉えていると判断できる。

4. 結論と今後の展望

本研究では、小地震時における構造物の地震応答から群杭基礎の水平インピーダンス特

性の振動数依存性を推定する手法を提案し、その妥当性を検証した。今後、推定精度の向上に努めたい。

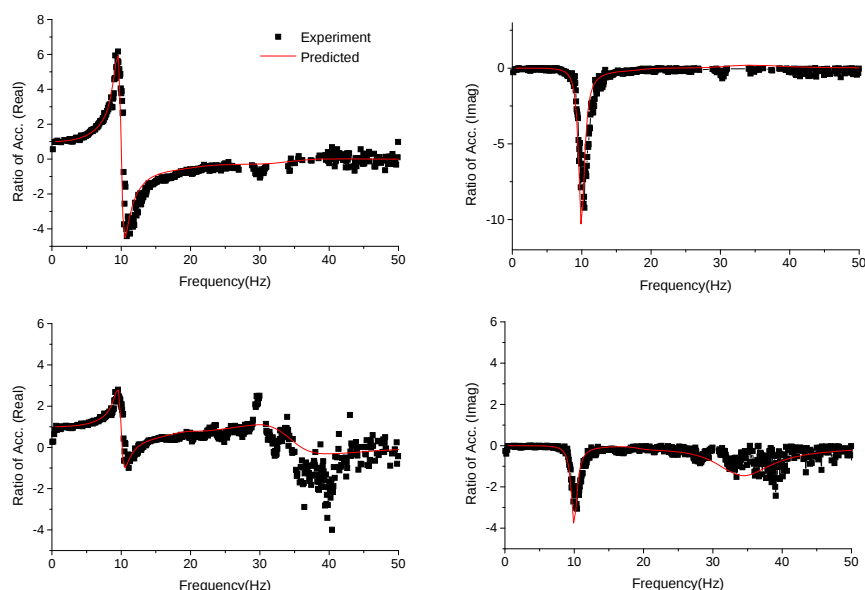


図 3 GLPM の推定値を用いた伝達関数と実験値との比較（実験では 80-150gal 相当の加速度振幅がフーチング位置で観測されたものを対象）

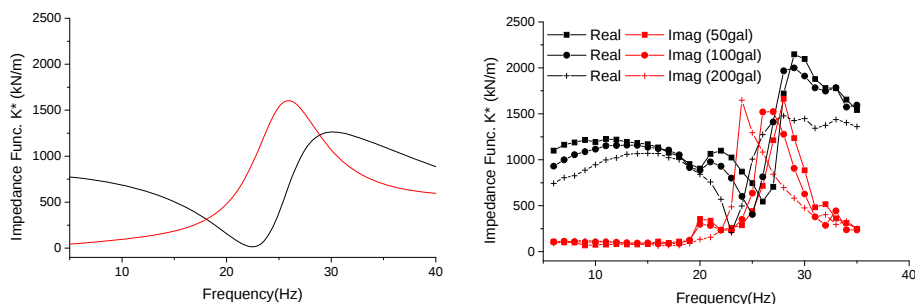


図 4 GLPM の推定値から求まるインピーダンス関数と実験値²⁾との比較

参考文献

- 1) (例えば) 小豆畑達哉他, 2015. 地震観測に基づく地盤-建築構造物の動的相互作用に関する研究. 建築研究資料 第 167 号.
- 2) 齊藤正人, 横田怜哉, 岡本宙, Goit Chandra, 2022. 地震応答を利用した群杭基礎の大変形領域における水平動的ばね特性の評価. 令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP21H01414 の助成を受けたものです。